

Розробка методичних положень порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння за військово-технічним рівнем

О. М. Загорка, П. В. Щипанський, А. К. Павліковський, А. А. Корецький, В. В. Биченков

При формуванні тактико-технічного завдання на створення зразка озброєння розглядаються не тільки його характеристики за призначенням, а й експлуатаційно-технічні, технологічні, економічні та інші характеристики. Сукупність характеристик визначає військово-технічний рівень зразка озброєння. Звичайно розглядаються варіанти зразка озброєння, які відрізняються сукупністю характеристик. Для порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння за військово-технічним рівнем необхідно застосовувати відповідні методичні положення.

Вирішення завдання – порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння стало можливим шляхом послідовного вирішення чотирьох задач.

При вирішенні першої задачі здійснена декомпозиція сукупності характеристик зразка озброєння на три рівні: властивості, складові властивостей, показники. Науковим результатом першої задачі є методичний підхід до порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння на підставі урахування важливостей характеристик при ранжируванні варіантів зразка озброєння з використанням методу багатокритеріального аналізу.

При вирішенні другої задачі отримано порядок поетапного експертного оцінювання коефіцієнтів важливостей властивостей, складових властивостей, показників з використанням методу парних порівнянь, що дозволяє урахувати їх вплив на військово-технічний рівень зразка озброєння.

Результатом вирішення третьої задачі дослідження є алгоритм порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння з використанням методу таксономії. Наведений алгоритм дозволяє ранжирувати варіанти зразка озброєння з урахуванням важливості показників, які визначають їх військово-технічний рівень.

Проведення декомпозиції характеристик, застосування методу парних порівнянь для експертного оцінювання їх важливості, методу таксономії дозволило отримати цілісну методику порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння за військово-технічним рівнем.

При вирішенні четвертої задачі дослідження розглянуто порядок застосування розробленої методики на прикладі порівняльного оцінювання військово-технічного рівня варіантів зенітної ракетної системи.

Методика може застосовуватися при обґрунтуванні тактико-технічного завдання на розробку зразків озброєння

Ключові слова: зразок озброєння, військово-технічний рівень, парне порівнювання, метод таксономії, методика порівняльного оцінювання

1. Вступ

Оснащення армії сучасним озброєнням є пріоритетним завданням будь-якої країни. На заміну застарілих зразків, які відпрацювали встановлений ресурс, на озброєння приймаються більш сучасні засоби збройної боротьби. При цьому оснащення армії може здійснюватися за рахунок:

- самотійної розробки і власного виробництва озброєння;
- виробництва озброєння за ліцензіями;
- виробництва озброєння в кооперації з іншими країнами;
- закупівлі озброєння.

Є очевидним, що оснащення збройних сил новими сучасними видами озброєння світової якості в достатній кількості є першочерговим завданням будь-якої країни. А розвинуті спроможності оборонно-промислового комплексу щодо забезпечення основними видами сучасного озброєння власних збройних сил є однією з визначальних умов забезпечення незалежності у сфері безпеки і оборони.

Відомо, що створення нових зразків озброєння починається з обґрунтування їх обрису і розробки тактико-технічного завдання (ТТЗ). При цьому зазвичай розглядається певна кількість варіантів зразка озброєння, які можуть відрізнятися структурою побудови, принципами функціонування, параметрами та інше. При прийнятті рішення на розробку зразка озброєння потребується обрати раціональний (найкращий) варіант за результатами порівняння (ранжирування) варіантів за їх військово-технічним рівнем. Для порівняння варіантів зразка озброєння використовуються показники, які характеризують: його можливості застосування за призначенням; витрати на розробку, виробництво та експлуатацію; технологічні особливості; відповідність світовому рівню тощо.

На практиці вибрати компромісний варіант зразка відразу за всіма показниками або хоча б за більшістю показників достатньо складно. У цьому випадку задача порівняння варіантів зразка озброєння за військово-технічним рівнем стає багатокритеріальною, що потребує розроблення відповідних методичних положень.

Необхідність урахування багатьох різноманітних факторів, їх важливості при порівняльному оцінюванні варіантів зразка озброєння під час прийняття рішення на його створення в умовах обмежених ресурсів визначає практичну спрямованість і актуальність роботи.

2. Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

Зазвичай, порівняння зразків озброєння здійснюється з урахуванням характеристик, які визначають їх застосування за призначенням. Так, у праці [1] в ході порівняльної оцінки враховується тільки певний набір тактико-технічних характеристик вказаних військових об'єктів (маса, розміри, швидкість, вантажопідйомність тощо).

У [2] розглянута методика визначення критерію порівняння ефективності комплексів вогневого ураження, яка заснована на розрахунку потрібних нарядів вогневих засобів на заданій безлічі об'єктів ураження. При цьому методика ураховує тільки імовірності ураження комплексами об'єктів, за якими визнача-

ються потрібні наряди вогневих засобів. Питання всебічного порівняння комплексів вогневого ураження не розглядалось.

У [3] запропонована методика порівняльної оцінки військових формувань, у якій ураховуються бойові потенціали засобів збройної боротьби. Розглядається вплив на бойові потенціали військових формувань засобів забезпечення і управління. Однак не розкривається вплив тактико-технічних характеристик (ТТХ) засобів збройної боротьби на їх бойові потенціали. Тому методика принципово не може застосовуватися для оцінювання військово-технічного рівня зразків озброєння.

В роботі [4] здійснена спроба провести комплексну порівняльну оцінку як угруповань військ, так і зразків ОВТ із застосуванням процедури оборонного планування на основі спроможностей. Для цього авторами запропонований один з методів регресійного аналізу (комбінаторний метод з обмеженою базою аргументів). Але недоліком зазначеного підходу є неконтрольованість отриманих результатів розрахунків, що дуже важливо для розуміння причинно-наслідкових зв'язків.

При удосконаленні або розробці нових засобів збройної боротьби у праці [5] пропонується визначати ТТХ перспективних засобів методами екстраполяції за існуючими засобами. За використанням такого підходу задача полягає в отриманні функціональної залежності бойового потенціалу засобу збройної боротьби від відповідних ТТХ. Дана задача відноситься до класу екстраполяційних (інтерполяційних) багатомірних задач. Одним із способів побудови такої функціональної залежності є застосування методу невизначених коефіцієнтів. Наявність функціональної залежності бойового потенціалу зразка озброєння від ТТХ дозволяє порівнювати різні варіанти цього зразка. Однак для побудови такої залежності необхідно мати відповідні статистичні дані за результатами випробувань, що є проблематичним в умовах ресурсних обмежень.

У праці [6] порівняння зразків озброєння здійснюється за співвідношенням математичних сподівань кількості озброєння протидіючих сторін на момент бою, які визначаються з використанням методу динаміки середніх (рівнянь Ланчестера). При цьому ураховуються тільки інтенсивності потоку уражаючих пострілів зразків озброєння різних типів.

Експертний метод багатокритеріального аналізу для пріоритетного вибору систем розглянуто у праці [7]. Порівняння систем здійснюється відповідно до базової системи. Експертами визначаються рейтинги функцій, які повинні виконувати системи, коефіцієнти порівняння з базовою системою, коефіцієнти важливості показників. Оцінювання пріоритету системи здійснюється за максимумом суми добутків рейтингів функцій на суми добутків коефіцієнтів порівняння з базовою системою на коефіцієнти важливості показників. Тобто практично використовується адитивна згортка показників, що є не зовсім коректним при порівнянні систем або зразків озброєння. Крім того, у статті не визначено, що розуміється під базовою системою, не розглянуті підходи до оцінювання коефіцієнтів важливості показників.

Одним з методів багатокритеріального аналізу альтернатив є метод MOORA [8]. Аналіз альтернатив здійснюється у два етапи: на першому етапі –

за адитивною згортою нормалізованих показників, на другому – за відстанню до еталонної точки. Передумовою обмеженості практичного використання методу MOORA є: відсутність обґрунтування нормалізації натуральних значень показників, а також відсутність формального механізму поєднання отриманих пріоритетних рядів для визначення найкращої альтернативи [9].

У статті [10] удосконалено застосування методу MOORA (MULTI MOORA) з урахуванням нечітких вихідних даних. Розглянуто застосування цього методу для відбору персоналу. У випадку порівняння варіантів зразка озброєння за тактико-технічними характеристиками застосування даного методу недоцільно.

Комплексний метод порівняння альтернатив запропоновано у роботі [11]. Метод заснований на використанні методу MACBETH для визначення ваг критеріїв та методу EDAS для ранжирування альтернатив. Визначення ваг критеріїв здійснюється з використанням лінійного програмування, що є достатньо трудомістким при великій кількості критеріїв. Відповідно до методу EDAS ранжирування альтернатив здійснюється за відстанями від середнього рішення, більш представницьким є порівняльне оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння відносно еталонного варіанту.

Крім згаданої статті спроба поєднання різних за природою характеристик в оцінці зразків озброєння та воєнної техніки запропоновано в наступному джерелі [12]. В даному прикладі є спроба поєднання таких характеристик, як захист, вантажопідйомність, виконувані завдання, модульність, ремонтпригодність, вартість і т. ін.

Порівняльне оцінювання зразків озброєння може здійснюватися за вартістю ураження цілі. Наприклад, розглянуто перевагу застосування лазера у порівнянні з ракетною системою для ураження боєприпасів близької дії. Показано, що вартість ураження боєприпасу лазером складає 2000 доларів, а ракетного комплексу “Залізний купол” Ізраїлю від 40000 до 80000 доларів США. Однак вартісні характеристики тільки частково впливають на військово-технічний рівень зразка озброєння.

Аналіз підходів до вибору раціонального варіанту зразка озброєння [1–12], вказує на відсутність загального науково-методичного апарату з вирішення поставленого завдання. Як правило, для оцінювання важливості характеристик озброєння та військової техніки використовуються підходи, які визначаються специфікою об’єктів, що порівнюються.

Проблема полягає у необхідності кількісного порівняльного оцінювання (ранжирування) варіантів зразків озброєння, які повинні розглядатися під час формування ТТЗ на його створення, за багатьма різнорідними характеристиками.

Методи порівняння зразків озброєння, що наведені у працях, ураховують тільки окремі характеристики зразків. Загальні методи багатокритеріального аналізу, які викладені у працях, потребують урахування особливостей порівняння варіантів зразка озброєння. Це стосується використання еталонного варіанта при порівнянні варіантів зразка озброєння і коректного урахування важливості його багатьох характеристик. Тому можна стверджувати, що для вирішення проблеми доцільним є проведення дослідження щодо розробки мето-

дичних положень оцінювання важливості характеристик, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння та ранжирування варіантів його створення.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є розробка методики порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння за сукупністю характеристик, які визначають його військово-технічний рівень.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити методичний підхід до порівняльного оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння;
- визначити метод і порядок оцінювання важливості характеристик, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння;
- обґрунтувати метод і визначити послідовність порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння;
- розглянути оцінювання варіантів зенітної ракетної системи середньої дальності з використанням розробленої методики.

4. Методи та методика порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння

4.1. Методичний підхід до порівняльного оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразків озброєння

При оцінюванні військово-технічного рівня зразка озброєння (комплексу, системи), насамперед, визначається структура його побудови. Відповідно до структури побудови визначаються функції, які повинні виконуватися його засобами. Виконання цих функцій характеризується відповідними показниками (ТТХ), які задаються в ТТЗ на створення зразка озброєння. В ТТЗ звичайно наводяться характеристики, які визначають вимоги до застосування зразка озброєння. У той же час військово-технічний рівень зразка озброєння характеризується особливостями його розробки, виробництва, економічним витратами, відповідністю світовому рівню тощо.

Сукупність характеристик, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння, доцільно розглянути як систему характеристик. Відповідно до принципів системного аналізу [13] це дозволяє здійснити розчленування (декомпозицію) системи характеристик на елементи з метою більш досконалого визначення їх впливу на військово-технічний рівень зразка озброєння. Пропоновано [14] декомпозицію характеристик, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння, здійснювати на властивості, складові властивостей і показники (рис. 1).

Визначення властивостей, складових властивостей і показників, що характеризують військово-технічний рівень зразка озброєння, здійснюється з використанням евристичного методу, тобто має суб'єктивний характер. Тому для виконання цього завдання необхідно залучати фахівців, які мають досвід розробки подібних зразків озброєння, а також їх експлуатації (застосування).

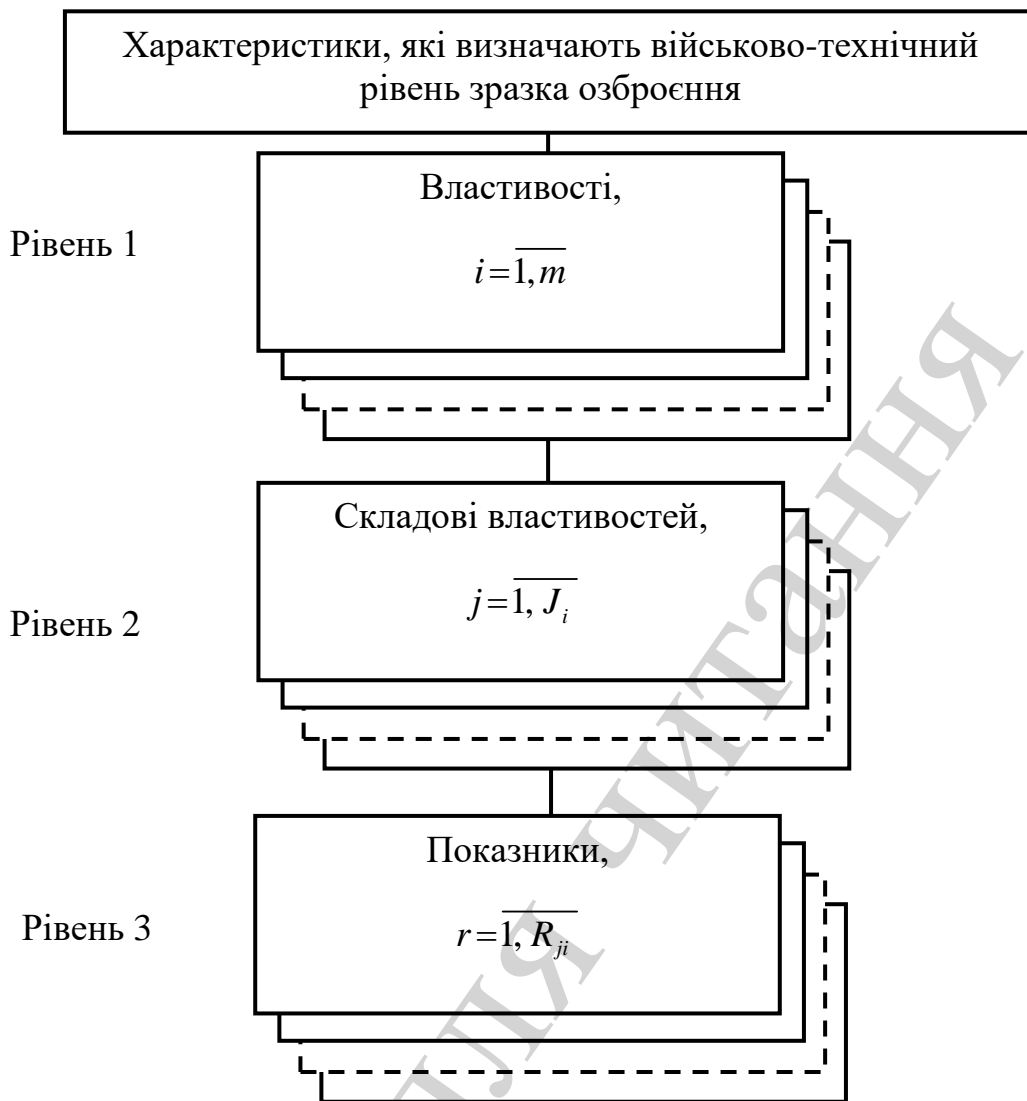


Рис. 1. Декомпозиція системи характеристик на властивості, складові властивостей і показники

Властивостями, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння, можна вважати: бойові, структурні, експлуатаційно-технічні, технологічні, економічні тощо. Бойові властивості безпосередньо визначають здатність зразка озброєння до виконання завдань за призначенням. Відповідно до типу зразка озброєння складовими бойових властивостей можуть бути розвідувальні, вогневі та маневрені можливості. Складові властивостей характеризуються відповідними показниками. Наприклад, вогневі можливості можуть характеризуватися дальністю та імовірністю ураження цілей, середнім часом обстрілу цілей та інше.

Структурні та експлуатаційно-технічні властивості доцільно поділяти на складові, які визначаються показниками, що характеризують структуру побудови зразка озброєння, надійність функціонування його засобів, ергономічність і безпеку експлуатації, ремонтно-придатність тощо.

Технологічні та економічні властивості містять складові, які характеризуються використанням власних елементів при виробництві зразка озброєння,

ступенем уніфікації його засобів, витратами на розробку, виробництво та утримання зразка озброєння у військах, конкурентоспроможністю.

Формування варіантів зразка озброєння, які передбачається розглянути під час обґрунтування ТТЗ на його створення, здійснюється експертами.

При визначенні показників, які характеризують бойові властивості варіантів зразка озброєння, експерти керуються результатами попередніх досліджень щодо обґрунтування основних ТТХ зразка за призначенням.

Можливий склад засобів варіантів зразка озброєння визначається на підставі аналізу структур зразків аналогічних за призначенням.

Показники надійності функціонування зразка озброєння та його засобів визначаються заздалегідь з урахуванням елементної бази, що передбачається застосовувати, резервування функціонування окремих блоків, систем та ін. Визначення показників ремонтпридатності здійснюється експертами на підставі аналізу експлуатації подібних зразків озброєння.

Відповідність зразка озброєння, що передбачається створювати, до світового рівня оцінюється експертами шляхом порівняння його характеристик з характеристиками сучасних зарубіжних зразків.

Технологічні властивості визначаються з аналізу можливостей підприємств, які передбачається залучити до створення зразка озброєння, виробництва відповідної елементної бази, комплектуючих вузлів та уніфікованих блоків і систем.

Економічні витрати на створення зразка озброєння оцінюються приблизно виходячи з досвіду розроблення попередніх власних і закордонних зразків. Можна вважати, що витрати на створення зразка озброєння суттєво залежать від його бойових властивостей.

При формуванні варіантів зразка озброєння не всі показники можуть визначатися абсолютними величинами. Частина показників визначається відносними величинами. Для цього умовне максимальне значення показника з варіантів зразка приймається за одиницю, а для решти варіантів визначається його зниження (зменшення) відносно одиниці.

Вплив характеристик, а саме властивостей, їх складових, показників на військово-технічний рівень зразка озброєння відрізняється. Тому при порівняльному оцінюванні варіантів зразка озброєння необхідно урахувати значущість (важливість) характеристик.

Завершальним етапом порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння є застосування для вибору раціонального варіанту багатокритеріального методу аналізу з використанням важливості характеристик, що визначають його військово-технічний рівень.

Структурна схема методичного підходу до порівняльного оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння показана на рис. 2.

Під час аналізу обраного варіанту зразка озброєння може виникнути необхідність уточнити його характеристики. У цьому випадку доцільно знову здійснити порівняльне оцінювання всіх варіантів з урахуванням уточнених характеристик обраного варіанта зразка озброєння.



Рис. 2. Структурна схема методичного підходу до порівняльного оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння

Основою запропонованого підходу є: по-перше, оцінювання важливості характеристик, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння;

по-друге, порівняльне оцінювання варіантів зразка озброєння за їх військово-технічним рівнем. Методичні положення вирішення цих завдань доцільно розглядати окремо.

4. 2. Оцінювання важливості характеристик, що визначають військово-технічний рівень зразка озброєння

Важливість характеристик, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння, пропонується оцінювати у три етапи за рівнями, які відповідають їх декомпозиції на рис. 1. На першому етапі оцінюються коефіцієнти важливості властивостей, на другому етапі – коефіцієнти важливостей складових властивостей, на третьому етапі – коефіцієнти важливостей показників з урахуванням першого і другого етапів. При наявності великої кількості альтернатив (більше семи) застосування методів ранжирування, безпосереднього оцінювання, послідовних порівнянь для встановлення переваги альтернатив стає надмірно трудомістким [15, 16]. У цьому випадку доцільно застосовувати метод парних порівнянь [17].

Для оцінювання важливості альтернатив експертами складається матриця парних порівнянь з використанням дев'ятибальної шкали Сааті [18]. В даному випадку кількість матриць парних порівнянь, які повинні побудувати експерти, визначається декомпозицією системи характеристик на рис. 1.

Необхідно побудувати для оцінювання коефіцієнтів важливості: властивостей зразка озброєння – одну матрицю парних порівнянь, складових властивостей – m матриць, показників – $\sum_i I_i (i = \overline{1, m})$ матриць.

Вигляд матриці парних порівнянь властивостей (перший етап оцінювання важливості характеристик) наведено у табл. 1.

Таблиця 1
Матриця парних порівнянь властивостей

Властивості зразка озброєння	B_1	B_2	...	B_i	...	B_m
B_1	1	$\frac{\omega_1}{\omega_2}$...	$\frac{\omega_1}{\omega_i}$...	$\frac{\omega_1}{\omega_m}$
B_2	$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	1	...	$\frac{\omega_2}{\omega_i}$...	$\frac{\omega_2}{\omega_m}$
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
B_i	$\frac{\omega_i}{\omega_1}$	$\frac{\omega_i}{\omega_2}$...	1	...	$\frac{\omega_i}{\omega_m}$
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•

B_m	$\frac{\omega_m}{\omega_1}$	$\frac{\omega_m}{\omega_2}$	\dots	$\frac{\omega_m}{\omega_i}$	\dots	1
-------	-----------------------------	-----------------------------	---------	-----------------------------	---------	---

Матриця діагональна, її елементи обернено симетричні відносно головної діагоналі. Елементами матриці є співвідношення, які визначають перевагу однієї властивості над іншою щодо впливу на військово-технічний рівень зразка озброєння.

Для визначення пріоритетів властивостей обчислюють компоненти власного вектору матриці шляхом отримання геометричного середнього її рядків [18]:

$$\begin{aligned}
 \xi_1 &= \sqrt[m]{1 \times \frac{\omega_1}{\omega_2} \times \dots \times \frac{\omega_1}{\omega_i} \times \dots \times \frac{\omega_1}{\omega_m}}; \\
 \xi_2 &= \sqrt[m]{\frac{\omega_2}{\omega_1} \times 1 \times \dots \times \frac{\omega_2}{\omega_i} \times \dots \times \frac{\omega_2}{\omega_m}}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 \xi_i &= \sqrt[m]{\frac{\omega_i}{\omega_1} \times \frac{\omega_i}{\omega_2} \times \dots \times 1 \times \dots \times \frac{\omega_i}{\omega_m}}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 \xi_m &= \sqrt[m]{\frac{\omega_m}{\omega_1} \times \frac{\omega_m}{\omega_2} \times \dots \times \frac{\omega_m}{\omega_j} \times \dots \times 1}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Заповнення матриць парних порівнянь здійснюється групою експертів. Вважається [19], що найбільш оптимальною за чисельністю є група експертів з 10–15 осіб. Імовірність істинності колективного експертного погляду приблизно дорівнює 0,8 [20].

Геометричне середнє компоненти власного вектору матриць, що заповнюються K експертами ($k=1, \overline{K}$)

$$\xi_i = \sqrt[K]{\prod_k \xi_{ik}}, \tag{2}$$

де ξ_{ik} – i -а компонента власного вектору матриці, що заповнюється k -м експертом.

Коефіцієнти важливості властивостей a_i визначаються шляхом нормування величин ξ_i ($i=1, m$)

$$a_i = \frac{\xi_i}{\sum_i \xi_i}; \quad \sum_i a_i = 1. \tag{3}$$

Аналогічно обчислюються компоненти власних векторів всіх матриць, що повинні побудувати експерти, і визначаються пріоритети характеристик.

На другому етапі оцінювання важливості характеристик для кожної i -ої властивості розглядається $J_i \left(j=1, \overline{J} \right)$ її складових. Експертами з матриць парних порівнянь визначаються пріоритети складових властивостей v_{ji} . Коефіцієнти важливості складових властивостей розраховуються за формулою

$$C_{ji} = a_i v_{ji}; \quad i=1, \overline{m}; \quad j=1, \overline{J_i}. \quad (4)$$

На третьому етапі оцінювання важливості характеристик експертами визначаються пріоритети показників відносно складових властивостей. Для отримання коефіцієнта важливості r -го показника $\left(r=1, \overline{R_{ji}} \right)$ необхідно його пріоритет перемножити на коефіцієнт важливості складової властивості, на яку замикається цей показник. Загальна кількість показників, важливість яких оцінюється експертами, складає

$$R = \sum_i \sum_j R_{ji}; \quad i=1, \overline{m}; \quad j=1, \overline{J_i}. \quad (5)$$

Таким чином, військово-технічний рівень зразка озброєння пропонується визначати з врахуванням комплексної оцінки його бойових, структурних, експлуатаційно-технічних, технологічних, економічних та інших важливих груп характеристик, що дозволить науково-обґрунтовано визначити ефективність згаданого зразка озброєння та військової техніки. Відносну важливість характеристик варіантів зразка озброєння пропонується враховувати шляхом експертного опитування методом парних порівнянь.

4. 3. Визначення послідовності порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння

Зразок озброєння характеризується великою кількістю різномірних показників (параметрів), які різним чином впливають на його військово-технічний рівень. Одним з методів аналізу багатокритеріальних процесів є метод таксономії [21], який спеціально орієнтований на дослідження об'єктів, що характеризуються великою кількістю ознак (параметрів). Метод дозволяє ранжувати варіанти зразка озброєння без обмежень на кількість варіантів і кількість показників, що характеризують їх військово-технічний рівень.

Основним елементом, що використовується у таксономічному методі, є так звана таксономічна відстань.

Таксономічна відстань визначається за правилами аналітичної геометрії між точками – показниками варіантів зразка озброєння у багатомірному просторі. Розмірність цього простору визначається кількістю показників, які характеризують військово-технічний рівень зразка озброєння. Кожному варіанту зразка озброєння відповідає його конкретне положення у багатомірному просторі показників.

Процедура методу таксономії заснована на класифікації показників на стимулятори і дестимулятори. Ознаки (показники), що сприяють зростанню військово-технічного рівня зразка озброєння, в таксономії прийнято відносити до класу стимуляторів, а ознаки (показники), що зменшують зростання, до класу дестимуляторів.

Для формування моделі загального показника військово-технічного рівня зразка озброєння вводиться поняття ідеального або еталонного зразка озброєння. Такому зразку озброєння відповідають максимальні значення показників – стимуляторів і мінімальні значення показників – дестимуляторів. Військово-технічний рівень варіантів зразка озброєння оцінюється за таксономічними відстанями відносно до еталонного зразка озброєння.

Вихідними даними для порівняльного оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння є показники та їх коефіцієнти важливості.

Структурна схема алгоритму порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння з використанням методу таксономії наведено на рис. 3.

Таксономічний показник C_l характеризує наближення l -го варіанта зразка озброєння до еталонного. Чим ближче показник C_l до одиниці, тим вище військово-технічний рівень l -го варіанта зразка озброєння. Для варіанта зразка озброєння з максимальним значенням таксономічного показника $C_{l_{\max}}$ коефіцієнт порівняння $K_l=1$.

Здійснення декомпозиції характеристик, застосування методу парних порівнянь для оцінювання їх важливості, використання методу таксономії дозволило розробити цілісну методику порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння за військово-технічним рівнем.



Рис. 3. Структурна схема алгоритму порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння з використанням методу таксономії

5. Приклад оцінювання варіантів зенітної ракетної системи середньої дальності

Відповідно до приведеного на рис. 2 методичного підходу, насамперед, необхідно визначити структуру побудови зенітної ракетної системи (ЗРС). З аналізу існуючих ЗРС і зенітних ракетних комплексів [22–25] випливає, що най-

більш загальною є структура побудови ЗРС типу С-300 (рис. 4), яку доцільно прийняти при дослідженні.

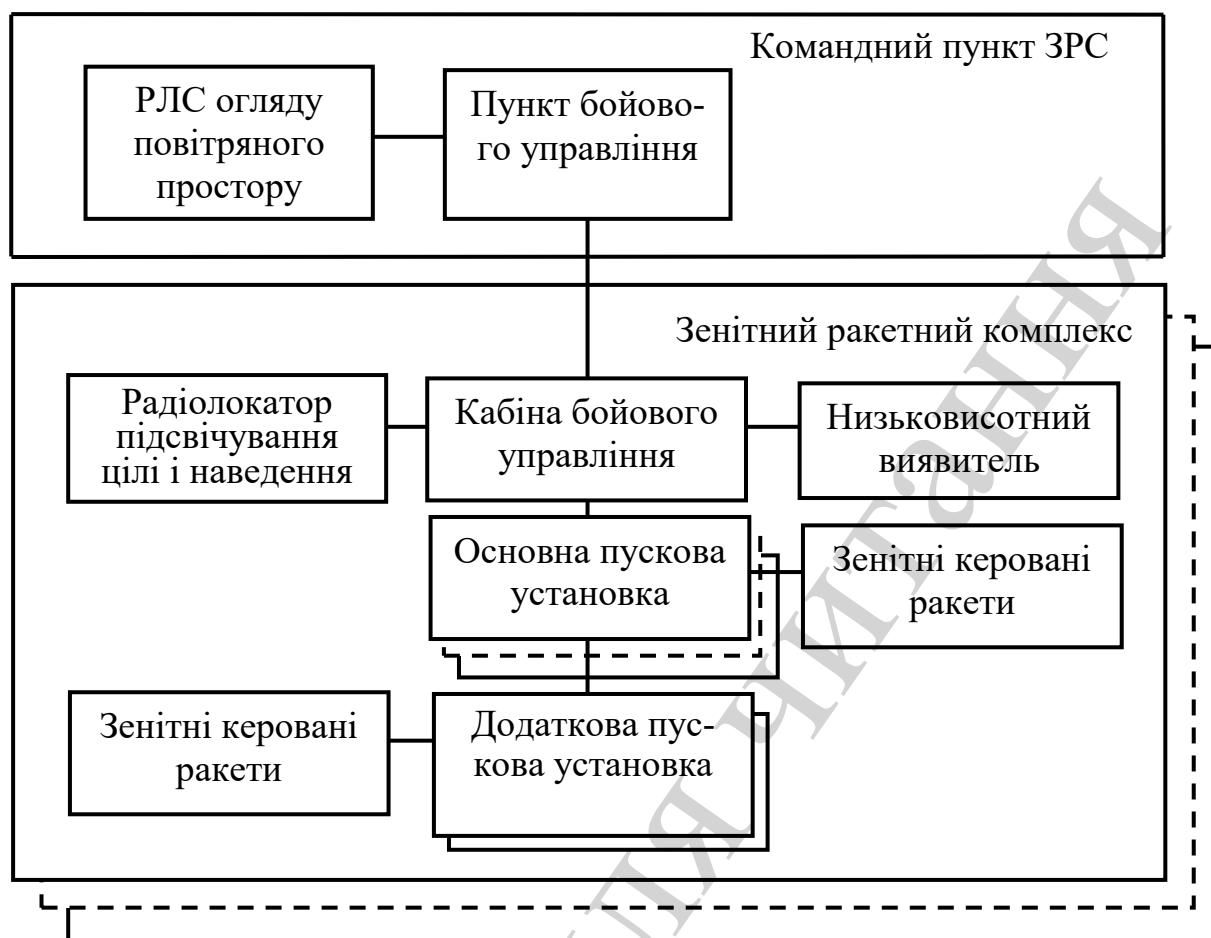


Рис. 4 . Узагальнена структура побудови ЗРС

При обґрунтуванні ТТЗ на створення ЗРС розглядається 5 варіантів системи, які відрізняються характеристиками. Потрібно визначити раціональний варіант ЗРС за військово-технічним рівнем.

Сукупність характеристик (властивості, складові властивостей, показники) наведено у табл. 2.

Коефіцієнти важливості властивостей, що отримані експертами, дорівнюють:

$$a_1=0,48; a_2=0,25; a_3=0,27.$$

Пріоритети складових властивостей v_{ji} дорівнюють:

$$v_{11}=0,19; v_{21}=0,36; v_{31}=0,35; v_{41}=0,10;$$

$$v_{12}=0,32; v_{22}=0,52; v_{32}=0,16;$$

$$v_{13}=0,23; v_{23}=0,24; v_{33}=0,53.$$

Таблиця 2

Властивості, складові властивостей, показники

Найменування властивостей, складових властивостей, показників	Но- мер пока- зника, r	Пріо- ритет пока- зника	Коефі- цієнт важли- вості, λ_r	Значення показників за варіантами ЗРС					“+” – сти- мулятор, “–” – дес- тимулятор
				1	2	3	4	5	
Бойові властивості ($i=1$)									
Розвідувальні можливості ($j=1$)									
Дальність виявлення ти- пової цілі, км	1	0,50	0,045	280	300	290	270	260	+
Нижня межа зони огляду повітряного простору, м	2	0,33	0,030	150	100	200	100	100	–
Верхня межа зони огляду повітряного простору, км	3	0,17	0,015	30	35	30	30	30	+
Параметри зони ураження ЗРК ($j=2$)									
Дальність ураження типо- вої цілі, км	4	0,42	0,073	80	90	85	80	75	+
Нижня межа зони ура- ження, м	5	0,41	0,071	50	30	30	50	50	–
Верхня межа зони ура- ження, км	6	0,17	0,029	28	30	28	25	25	+
Можливості ураження і обстрілу цілей ($j=3$)									
Імовірність ураження ти- пової цілі	7	0,50	0,85	0,75	0,8	0,7	0,7	0,7	+
Середній час обстрілу ці- лі, C	8	0,25	0,042	80	90	85	80	75	–
Кількість цільових каналів ЗРК	9	0,25	0,042	4	6	4	4	6	+
Маневрені можливості ($j=4$)									
Час зайняття позиції, хв.	10	0,34	0,016	18	20	18	15	15	–
Час залишення позиції, хв.	11	0,16	0,008	16	18	16	14	14	–
Час приведення у готов- ність до бойової роботи, хв.	12	0,50	0,024	12	10	12	15	15	–
Структурні та експлуатаційно-технічні властивості ($i=2$)									
Структурні характеристики ($j=1$)									
Кількість ЗРК у складі ЗРС	13	0,46	0,037	3	4	3	4	3	+
Кількість бойових засобів у складі ЗРС	14	0,28	0,023	47	62	47	62	47	–
Кількість засобів обслуго- вування і забезпечення у складі ЗРС	15	0,26	0,021	21	28	21	28	21	–
Надійність ($j=2$)									
Імовірність безвідмовної роботи	16	0,51	0,066	0,88	0,91	0,85	0,87	0,84	+
Середній термін експлуа- тації засобів, P	17	0,18	0,023	20	18	20	21	22	+
Коефіцієнт бойової готов- ності	18	0,31	0,040	0,76	0,78	0,8	0,79	0,82	+

Продовження таблиці 2

Ергономічність, ремонтпридатність і безпека експлуатації ($j=3$)									
Показник ергономічності	19	0,23	0,009	0,8	0,9	1,0	0,95	0,85	+
Показник ремонтпридатності	20	0,24	0,010	0,85	1,0	0,9	0,85	0,8	+
Ступінь забезпечення безпеки експлуатації	21	0,53	0,021	0,95	1,0	0,98	0,97	0,96	+
Конкурентоспроможність, економічність та технологічні властивості ($i=3$)									
Відповідність світовому рівню ($j=1$)									
Відповідність сучасним принципам побудови систем	22	0,25	0,015	0,85	0,9	1,0	0,8	0,9	+
Відповідність сучасним технологіям	23	0,27	0,017	0,8	1,0	0,9	0,7	0,85	+
Конкурентоспроможність	24	0,48	0,030	0,7	0,9	0,75	0,8	1,0	+
Уніфікація ($j=2$)									
Ступінь уніфікації елементів	25	0,28	0,018	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	+
Ступінь використання власних комплектуючих	26	0,30	0,019	0,85	0,95	1,0	0,85	0,75	+
Ступінь використання власної елементної бази	27	0,42	0,028	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	+
Економічні витрати ($j=3$)									
Витрати на розроблення ЗРС	28	0,45	0,064	0,9	1,0	0,85	0,75	0,8	–
Витрати на виробництво	29	0,32	0,046	0,9	0,95	0,95	1,0	0,85	–
Витрати на утримання у військах	30	0,23	0,033	0,7	1,0	0,7	0,9	0,7	–

За результатами розрахунків коефіцієнтів важливостей отримані результати коефіцієнтів важливостей складових властивостей, як вказано в табл. 3.

Таким чином, на військово-технічний рівень створюваної ЗРС, найбільший вплив чинять параметри зони ураження ЗРК, можливості ураження і обстрілу цілей та економічні витрати. Найменший вплив на військово-технічний рівень ЗРС за результатами експертного оцінювання чинять маневрені можливості, ергономічність, ремонтпридатність і безпека експлуатації. Отримані результати щодо оцінки важливості складових властивостей не суперечать призначенню ЗРС, завданням якої є знищення засобів повітряного нападу противника.

Пріоритети показників відносно складових властивостей, що отримані експертами на третьому етапі оцінювання важливості характеристик, а також результати визначення коефіцієнтів важливості показників, приведені у табл. 2.

За результатами розрахунків з використанням алгоритму, наведеного на рис. 3, значення таксономічного показника для варіантів ЗРС, що розглядаються, порівнюють:

$$C_1=0,183; C_2=0,366; C_3=0,265; C_4=0,146; C_5=0,066.$$

Звідси найкращим за військово-технічним рівнем є другий варіант ЗРС (C_2).

Таблиця 3

Оцінка важливостей складових властивостей

Номер властивості, i	Номер складової властивості, j	Найменування складових властивостей	Оцінка важливості складової властивості
1	1	Розвідувальні можливості	0,091
1	2	Параметри зони ураження ЗРК	0,173
1	3	Можливості ураження і обстрілу цілей	0,168
1	4	Маневрені можливості	0,048
2	1	Структурні характеристики	0,08
2	2	Надійність	0,13
2	3	Ергономічність, ремонтпридатність і безпека експлуатації	0,04
3	1	Відповідність світовому рівню	0,062
3	2	Уніфікація	0,065
3	3	Економічні витрати	0,143

Таким чином, запропонований підхід щодо визначення раціонального варіанту ЗРС продемонстрував достатню чутливість в ході оцінки подібних за військово-технічним рівнем зенітних ракетних систем. Це надає можливість однозначно визначати найбільш раціональний варіант компоновки ЗРС.

6. Обговорення результатів дослідження військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння

Результатом проведеного дослідження стало розроблення методичних положень оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння. Як правило, дана процедура оцінювання проводиться при обґрунтуванні ТТЗ на його створення (рис. 2). Від якості проведеної процедури залежить раціональне співвідношення характеристик властивостей системи, що впливає на ефективність функціонування зразка озброєння за призначенням, з врахуванням вартості життєвого циклу зразка ОВТ. Як приклад, роботу методичного підходу застосовано для порівняння варіантів зенітних ракетних систем середньої дальності. Для цього відповідно до методичного підходу було визначено структуру побудови зенітної ракетної системи (рис. 4).

Далі, для можливості оцінки важливості характеристик з використанням методу парних порівнянь, здійснено декомпозицію зразка ОВТ на властивості, складові властивостей і показники (рис. 1). Відповідно, результати розподілу для ЗРС середньої дальності наведено в табл. 2.

Поетапна оцінка коефіцієнтів важливості: властивостей; складових властивостей; показників з урахуванням попередніх етапів (табл. 1), надає можливість урахування різномірних характеристик зразка озброєння при оцінюванні військово-технічного рівня його варіантів. Для ЗРС середньої дальності порівняльна оцінка подана в табл. 3.

Таким чином, особливістю розробленої методики, в порівнянні з іншими, є поетапне визначення коефіцієнтів важливості різномірних характеристик, які обумовлюють військово-технічний рівень зразка озброєння (1)–(5).

Для порівняння варіантів зразка озброєння за військово-технічним рівнем використовується таксономічний показник (рис. 3). Даний таксономічний показник характеризує наближення варіанта зразка озброєння до еталонного. Чим ближче показник до одиниці, тим вище військово-технічний рівень варіанта зразка озброєння.

Розроблена методика застосована для оцінювання військово-технічного рівня варіантів ЗРС. Результати розрахунків свідчать, що за результатами порівняння варіантів створення ЗРС середньої дальності, найкращим за військово-технічним рівнем визнано другий варіант ЗРС. За результатами дослідження на військово-технічний рівень ЗРС найбільш суттєво впливають: параметри зони ураження цілей ЗРК, можливості ураження і обстрілу цілей, економічні витрати на розробку, виробництво і утримання ЗРС у військах.

Обмеження і припущення запропонованих методологічних положень, в основному, пов'язані з визначенням кількісних значень показників, які характеризують військово-технічний рівень варіантів зразка озброєння. При визначенні показників необхідно враховувати можливості щодо забезпечення бойових характеристик зразка озброєння, а також інших характеристик, які обумовлюються можливостями оборонно-промислового комплексу щодо розробки і виробництва зразка озброєння.

З іншого боку, обмеження, які повинні враховуватися при застосуванні розробленої методики, обумовлюються використанням експертами шкали Сааті при здійсненні парних порівнянь характеристик, тобто при побудові матриць парних порівнянь. При використанні шкали Сааті не рекомендується порівнювати більше 9 факторів. Це необхідно враховувати при декомпозиції системи характеристик, які визначають військово-технічний рівень зразка озброєння.

Недоліком дослідження є орієнтація декомпозиції системи характеристик в основному на оцінювання військово-технічного рівня артилерійських, ракетних, зенітних ракетних комплексів і систем. При оцінюванні військово-технічного рівня інших зразків озброєння необхідно корегувати принципи декомпозиції системи характеристик, зокрема враховувати інші властивості та їх складові. Розвиток дослідження може полягати у застосуванні для визначення важливості характеристик зразка озброєння інших методів експертного оцінювання, зокрема методу Делфі, та зіставленні результатів, отриманих з використанням цього методу і методу парних порівнянь.

7. Висновки

1. Розроблений методичний підхід до порівняльного оцінювання військово-технічного рівня варіантів зразка озброєння ґрунтується на декомпозиції його характеристик, визначенні коефіцієнтів важливості характеристик та використанні їх при ранжируванні варіантів зразка озброєння. Це дозволило отримати цілісну методику порівняльного оцінювання варіантів зразка озброєння, що передбачається створювати, за військово-технічним рівнем.

2. Декомпозиція характеристик зразка озброєння здійснюється за властивостями, складовими властивостей, показниками. Це дозволяє послідовно здійснювати поетапне експертне оцінювання важливості характеристик зразка озброєння, а саме властивостей, складових властивостей, показників з використанням методу парних порівнянь.

3. Для порівняльного оцінювання варіанта зразка озброєння за військово-технічним рівнем у методиці застосовується метод таксономії, який не має обмежень щодо кількості показників, що ураховуються при порівнянні. Важливість показників у наведеному алгоритмі використання методу таксономії ураховується при їх стандартизації.

4. З використанням наведеної у праці методики проведено порівняльне оцінювання можливих варіантів ЗРС. Показано, що найбільший вплив на військово-технічний рівень ЗРС учиняють параметри зони ураження ЗРК, можливості ураження і обстрілу цілей, економічні витрати на розробку, виробництво і утримання ЗРС у військах.

Література

1. Mironov, D., Evdokimov, D. (2012). Development of anti-personnel mine clearance robot with high serviceability and maneuverability for detection and deactivation of explosive objects. *Science & technique*, 2, 7–10.
2. Буравлев, А. И., Брезгин, В. С. (2009). О критерии сравнительной оценки эффективности комплексов огневого поражения. *Военная мысль*, 7, 66–69.
3. Останков, В. И., Казарин, П. С. (2012). Методика сравнительной оценки боевых потенциалов войсковых формирований и качественного соотношения сил сторон в операциях. *Военная мысль*, 11, 47–57.
4. Vychenkov, V., Koretskyi, A., Oksiiuk, O., Vialkova, V. (2018). Assessment of capabilities of military groupings (forces) based on the functional group “Engage.” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (95)), 33–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142175>
5. Серегин, Г. Г., Стрелков, С. Н., Бобров, В. М. (2005). Об одном подходе к расчету значений боевых потенциалов перспективных средств вооружения. *Военная мысль*, 10, 32–38.
6. Загорка, О. М., Перепелиця, В. А., Заплішна, А. І. (2008). Методичні підходи до визначення бойових потенціалів і коефіцієнтів порівнянь зразків озброєння та військової техніки. *Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ Збройних Сил України*, 19.
7. Корендович, В. С. (2017). Застосування багатокритеріального аналізу для пріоритетного вибору. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського*, 2, 129–136.
8. Brauers, W. K., Zavadskas, E. K. (2009). Robustness of the multi-objective moora method with a test for the facilities sector. *Technological and Economic Development of Economy*, 15 (2), 325–375. doi: <https://doi.org/10.3846/1392-8619.2009.15.352-375>

9. Романченко, І. С., Потьомкін, М. М. (2016). Метод MOORA-ядро та його використання для багатокритеріального порівняння альтернатив. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, 1, 91–95.
10. Balezentis, A., Balezentis, T., Brauers, W. K. (2012). MULTIMOORA-FG: A Multi-Objective Decision Making Method for Linguistic Reasoning with an Application to Personnel Selection. *Informatica, Lith. Acad. Sci.*, 23, 173–190.
11. Kundakci, N. (2018). An integrated method using MACBETH and EDAS methods for evaluating steam boiler alternatives. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 26 (1-2), 27–34. doi: <https://doi.org/10.1002/mcda.1656>
12. Бисик, С. П., Чепков, І. Б., Васьківський, М., Давыдовський, Л. С., Корбач, В. Г., Высоцкий, О. Н., Захаревич, Д. Н. (2016). Теоретична оцінка протимінної стійкості багатоцільового тактичного автомобіля «Козак-2». *Озброєння Та Військова Техніка*, 9 (1), 26–31. doi: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2016.1\(9\).26-31](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2016.1(9).26-31)
13. Баскаков, А. Я., Туленков, Н. В. (2002). *Методология научного исследования*. К.: МАУП, 216.
14. Тарасов, В. М., Тимошенко, Р. І., Загорка, О. М. (2015). Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови в умовах реалізації концепції мережецентричних війн, оцінка ефективності бойового застосування). К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 140–150.
15. Бешелев, С. Д., Гурвич, Ф. Г. (1974). *Математико-статистические методы экспертных оценок*. М.: Статистика, 160.
16. Бешелев, С. Д., Гурвич, Ф. Г. (1973). *Экспертные оценки*. М.: Наука, 160.
17. Герасимов, Б. М., Локазюк, В. М., Оксінок, О. Г., Поморова, О. В. (2007). *Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень*. К.: Вид-во Європ. ун-ту, 335.
18. Саати, Т., Кернс, К. (1991). *Аналитическое планирование: организация систем*. М.: Радио и связь, 224.
19. Брахман, Т. (1984). *Многокритериальность и выбор альтернативы в технике*. М.: Радио и связь, 287.
20. Янкевич, В. Ф., Коцюбинская, Г. Ф. (1996). *Метод анализа иерархий: модификация системы экспертных оценок и их математической обработки. Управляющие системы и машины*, 12, 85–91.
21. Плюта, В. (1980). *Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: Методы таксономии и факторного анализа*. М.: Статистика, 151.
22. Романченко, І. С., Загорка, О. М., Бутенко, С. Г., Дейнега, О. В. (2011). *Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони)*. Житомир: “Полісся”, 120–127.
23. *Оружие России. Каталог*. Т. V. Вооружение и военная техника войск противовоздушной обороны (1997). М.: ЗАО “Военный парад”, 541.
24. Ганин, С. М., Карпенко, А. В., Жизневский, В. И., Федотов, Г. В. (1977). *Зенитная ракетная система С-300*. Санкт-Петербург: Невский бастион, 72.
25. *Зенитные ракетные комплексы противовоздушной обороны Сухопутных войск. Ч. I-II* (2003). *Техника и вооружение*, 80.